

*Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*

*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*

*Katedra materiálů a technologií pro automobily*



## **Opravy vad odlitků tmelením a impregnací**

## **Repairs of castings defects with sealants and impregnation**

Autor práce: Daniel Marek

Ostrava 2015

Vedoucí práce: Prof. Ing. Tomáš Elbel

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Daniel Marek**

Studijní program:

B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor:

3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma:

Opravy vad odlitků tmelením a impregnací  
Repairs of castings defects with sealants and impregnation

Zásady pro vypracování:

Úvod

Vady odlitků a jejich definice

Možnosti oprav vad odlitků

Vlastní poznatky o opravách vad tmelením a impregnací

Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

ELBEL, T.a kol. : Vady odlitků ze slitin železa. MATECS, Brno, 1992

KUBÍČEK,J. : Využití tmelů pro opravy odlitků. Slévárství, LV. 2007, č.1, s.22 – 26

KEINER,R.; MORES,A. : Opravy odlitků tmelením a utěšňováním. Slévárství, LV. 2007, č.1, s.27 – 31

KRŇÁVEK,V.;STŘITESKÝ,,F. : Opravy vad hliníkových odlitků impregnací. Slévárství, LV. 2007, č.1, s.32 – 26.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Tomáš Elbel, CSc.**

Datum zadání: 28.11.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015

doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# **Zásady pro vypracování bakalářské práce**

## **I.**

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopností využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## **II.**

### **Uspořádání bakalářské práce:**

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 6. Obsah BP                  |
| 2. Originál zadání BP                        | 7. Textová část BP           |
| 3. Zásady pro vypracování BP                 | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřisežné prohlášení     | 9. Přílohy                   |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |                              |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřisežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracujících právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a stati textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na



ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - a literatury citován číselným odkazem (v hranitých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra .....*

uprostřed: **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**


dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2013/2014.

Ostrava 1. 2. 2014

  
Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava


## Prohlášení

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.**

V Ostravě : 7.4.2015 .....

Podpis studenta:  .....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Tomáši Elbelovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá tmelením a impregnací vad odlitků. Jsou v ní uvedeny vady odlitků a jejich rozdělení. Popisuje vady, které jsou opravitelné tmelením a impregnací a uvádí, proč jsou tyto způsoby oprav výhodnější oproti jiným metodám. V práci jsou vypsány druhy tmelů, jejich vlastnosti a složení. Praktická část bakalářské práce se zabývá návštěvami ve dvou slévárenských podnicích, ve slévárně Tafonco a.s. a Slévárně Třinec a.s. Uvádí, s jakými materiály a tmely tyto podniky pracují a jak často opravy tmelením provádí. Poté v této práci popisují postup tmelení, který jsem si vyzkoušel na dvou odlitcích. Uvádím, s jakými materiály jsem pracoval a vyhodnocuji celý tento proces.

## **Klíčová slova**

Opravy odlitků, vady odlitků, tmelení, impregnace, složení tmelů, vakuová impregnace.

## **Abstract**

Bachelor thesis deals with sealing and impregnation of casting defects. Describes the casting defects and their classification as well as the defects which are repairable by sealant, impregnation and why these repair methods are preferable over other methods. In this work are listed types of sealants, their characteristics and composition. The practical part of the thesis engaged visits of two foundry companies. Visit of foundry Tafonco and company Slévárny Třinec. It states what materials and sealants these businesses operates with and how often repairs with sealing are performed. Then, this work describes the procedure sealing that I tried on two castings. I quote what materials have been used and evaluate the whole process.

## **Key words**

Repairing castings, casting defects, sealing, impregnation, composition sealants, vacuum impregnation.

# Obsah

Úvod .....	10
Teoretická část .....	11
1. Vady odlitků .....	11
1.1. Odlitek .....	11
1.2. Klasifikace vad odlitků .....	11
1.2.1. Skupiny vad a jejich charakteristika .....	12
1.2.2. Značení vad odlitků .....	13
2. Způsoby oprav a utěšňování odlitků .....	14
2.1. Opravy odlitků tmelením .....	14
2.2. Opravy odlitků svařováním .....	15
2.3. Utěšňování odlitků mechanickým způsobem .....	16
2.4. Utěšňování odlitků pokovováním .....	16
3. Použití tmelů pro opravy vad odlitků .....	17
3.1. Příprava povrchu na tmelení .....	17
3.2. Složení tmelů .....	18
3.2.1. Epoxidové pryskyřice .....	18
3.2.2. Vlastnosti epoxidových pryskyřic .....	19
3.2.3. Plniva .....	19
3.3. Tmely a jejich vlastnosti .....	20
3.3.1. Vlastnosti moderních tmelů .....	20
3.3.2. Tmely používané v ČR .....	21
4. Opravy vad odlitků impregnací .....	22
4.1. Vady opravitelné impregnací .....	22
4.2. Látky sloužící k impregnaci .....	24
4.3. Princip a postup impregnace .....	24
4.4. Impregnace přípravkem Diamant Dichtol .....	26



4.5. Vakuová impregnace .....	26
4.5.1. Rozdělení vakuové impregnace .....	27
4.5.2. Postup impregnace suchým vakuem .....	29
Praktická část .....	30
5. Návštěva slévárny Tafonco, a.s. ....	30
6. Návštěva podniku Slévárny Třinec, a.s. ....	31
7. Vlastní zkušenost s tmelením odlitků .....	34
7.1. Použité náčiní a pomůcky .....	34
7.2. Postup opravy odlitků metodou tmelení .....	35
7.2.1. Krok č. 1 - Zvolení vhodných míst pro tmelení .....	35
7.2.2. Krok č. 2 - Tvorba dutin pomocí vyvrtávání .....	35
7.2.3. Krok č. 3 - Smíchání dvou složek tmelu a tmelení dutin odlitků .....	37
7.2.4. Krok č. 4 - Vytvrzení tmelu a opracování povrchu odlitku .....	38
7.2.5. Krok č. 5 - Opracování povrchu odlitků .....	38
7.3. Vyhodnocení celé tmelící operace .....	40
Závěr .....	41
Seznam literárních a internetových zdrojů .....	43
Seznam obrázků .....	45

## Úvod

Tématem bakalářské práce, je oprava vad odlitků impregnací a tmelením. Toto téma tedy spadá pod slévárenství, což je velice obsáhlý vědní obor. Výroba odlitků je složitý a komplexní proces. I dnes se setkáváme s vadnými odlitky, kdy jen těžko zjistíme a odstraníme jejich příčinu. Ve slévárenství ovlivňuje lidský faktor kvalitu konečného výsledku více než v jiných odvětvích. Aby se dosáhlo odlitku požadované jakosti a kvality, je potřeba praktických zkušeností v této problematice. Při odlévání se tedy nevyhneme vadám, jen malé procento všech vad lze opravit tmelením nebo impregnací, a tím se bude tato práce zabývat.

Cílem práce je analyzovat, ověřit funkčnost a ekonomickou výhodnost tmelení a impregnace vad odlitků vzhledem k rychlosti těchto operací. Zjistit, jaké jsou možnosti oprav vadných odlitků, a porovnat tyto druhy oprav s impregnací a tmelením. Určit výhody a nevýhody těchto operací, zjistit jejich perspektivnost a směr v současném slévárenství a vyhodnotit rostoucí či klesající tendenci těchto způsobů oprav.

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou aplikační část. V teoretické části je vysvětleno, co jsou to vady odlitků, jaké je jejich rozdělení, určení druhů vad a jejich značení. Jsou zde rozděleny a popsány metody oprav odlitků. Dále se tato část práce zabývá složením tmelů, jejich druhy, vlastnostmi a popisuje moderní tmely dostupné v České republice. Poslední kapitola teoretické části je zaměřena na impregnační metodu oprav odlitků. Uvádí vady opravitelné impregnací, způsoby aplikace této metody a postup vakuové impregnace s jejím využitím.

Praktická část se zabývá využitím tmelů v praxi. Jsou zde zaznamenány návštěvy ve firmách Tafonco, a.s. a ve společnosti Slévárny Třinec, a.s., které tyto metody oprav využívají. Další úsek praktické části se věnuje postupu a analýze tmelení odlitků, které jsem si vyzkoušel na uměleckých odlitcích, materiál prvního odlitku je šedá litina, druhý odlitek je zhotoven z bronzu. Tmelení probíhalo ve slévárenské dílně na Ekonomické fakultě VŠB-TUO. U tohoto procesu je vytvořena fotodokumentace odlitků i použitých tmelů.

# Teoretická část

## 1. Vady odlitků

V řadě případů se na odlitcích objevují povrchové a vnitřní vady. Vadou odlitku rozumíme každou odchylku tvaru, rozměru, hmotnosti, vzhledu, makrostruktury, celistvosti, chemického složení nebo odchylky vlastností (mechanických a fyzikálních) odlitků měřené laboratorními zkouškami od příslušných norem, standardů a technických podmínek. Elbel [1] o vadách při odlévání uvádí, že náročné a komplikované jsou především ty vady, které úzce souvisí s krystalizačními procesy v pískové formě. Tato oblast neustále se měnících vlastností tuhnutí kovu a tepelným šokem namáhané formy, je navíc obtížně modelovatelná. Vývoj řešení těchto vad směřuje bezesporu od jednoduchého ke složitějšímu. Dnes bezpečně víme, že příčiny vzniku vad jsou komplexní a také řešení musí zvažovat všechny technické, organizační i lidské faktory.

### 1.1. Odlitek

Odlitek je polotovár, který je zhotovený z hmoty původně kapalné a následně ztuhlé. Surový odlitek se po odlití zbaví náletků, otoků a zbytků písku. Forma a její vtoková soustava zajišťuje výsledný tvar odlitku a má velký vliv na výsledný produkt a jeho kvalitu. Odlévat lze různé materiály. Například oceli, slitiny, litiny nebo plasty. Odlévání se velmi často používá v průmyslové výrobě ve strojírenství a v metalurgii při výrobě různých kovových součástí. Výroba odlitků je složitý technologický a metalurgický proces, zejména při odlévání kovu do pískových forem.

### 1.2. Klasifikace vad odlitků

Vady se zjišťují vizuálně, měřením, vážením, laboratorními zkouškami a nedestruktivními metodami.

Dle technických podmínek se dělí vady odlitku na [1]:

**Vady přípustné :** Jsou to odchylky od příslušných norem nebo technických podmínek, avšak tyto normy odchylku v určitých mezích připouštějí. U odlitků s touto vadou se nepožaduje jejich oprava.

**Vady nepřípustné:** Vady, které mají za následek vyřazení odlitku. Jsou to odchylky od příslušných norem nebo technických podmínek, které nedovolují opravu odlitku, jelikož je nepoužitelný.

**Vady opravitelné:** Odchylka na odlitku od příslušných norem nebo sjednaných technických podmínek, kterou je dovoleno podle předpisů vhodným způsobem odstranit.

### **Vady zjevné**

Jsou převážně povrchové vady, které je možno zjistit při prohlídce neobrobeného odlitku vizuálně nebo jednoduchými pomocnými měřidly.

### **Vady skryté**

Vady, které je možno zjistit až po obrobení odlitku pomocí vhodných přístrojů nebo laboratorními zkouškami. Říká se jim také vady vnitřní, jelikož se nachází především uvnitř odlitku.

#### **1.2.1. Skupiny vad a jejich charakteristika**

##### **1. Vady tvaru, rozměru a hmotnosti**

Nezaběhnutí, přesazení, vyboulení, zatekliny, nedodržení tvaru nebo hmotnosti.

##### **2. Vady povrchu**

Přípečeniny, zavaleniny, zálupy, nárostky, výronky, okujení. Ukázkou přípečeniny můžeme pozorovat na (obr. 1).

##### **3. Přerušení souvislosti**

Trhliny, praskliny.

##### **4. Dutiny (obr. 2, obr. 3 a obr. 4)**

Bubliny, bodliny, staženiny, řediny.

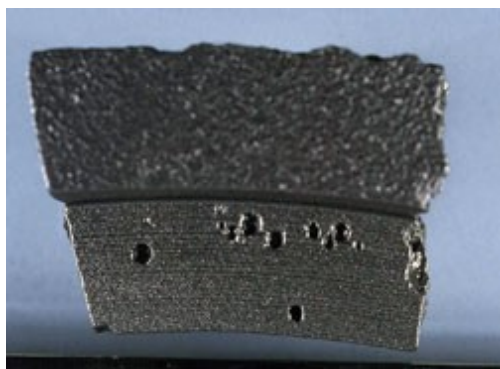
##### **5. Vměstky**

Struskovitost, zadrobeniny, broky, kovové nebo nekovové vměstky.

## 6. Vady struktury

Odmíšení, nevyhovující lom, zatvrdlina, nesprávná struktura, zákalka.

## 7. Vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastnosti [1].



Obr. 1: Povrchové připečeniny [1]



Obr. 2: Staženina [1]



Obr. 3: Dutina vzniklá z pískové formy [2]



Obr. 4: Malé dutiny a nerovnosti povrchu [2]

### 1.2.2. Značení vad odlitků

Vady se značí dle normy ČSN 42 1240 [2]. Tato norma platí pro odlitky ze všech druhů slitin železa a ze slitin neželezných kovů bez ohledu na způsob jejich výroby. Pro nejvyšší kategorii byl použit název skupina. Ta se poté dělí na podskupiny a ty již na jednotlivé vady.



## **2. Způsoby oprav a utěsňování odlitků**

1. Utěsňování odlitků pod tlakem kapalnými prostředky
2. Utěsňování a opravy odlitků tmelením
3. Utěsňování a opravy odlitků zavařováním
4. Utěsňování odlitků mechanickým způsobem
5. Utěsňování odlitků pokovováním

Utěsňování odlitků pod tlakem kapalnými prostředky, tedy pomocí impregnace, se nachází v kapitole 4. Tmelení a použití tmelů pro opravy vad odlitků je více popsáno v kapitole 3. a v jejích podkapitolách.

### **2.1. Opravy odlitků tmelením**

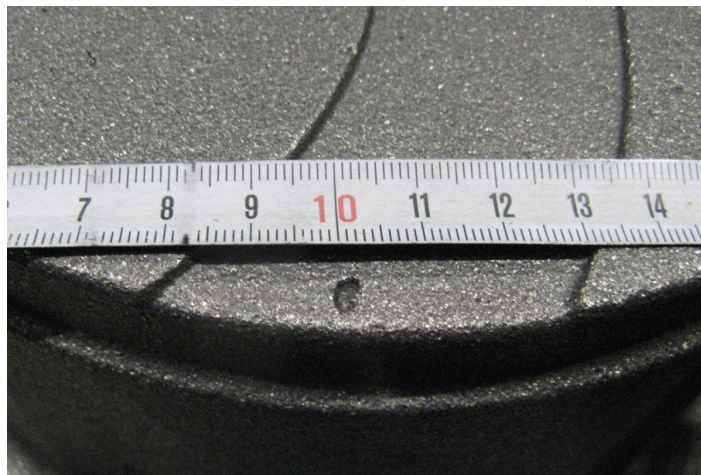
Opravy tmelením se provádí u menších povrchových vad, kdy není možné opravit tyto vady svařováním a navařováním. Metoda svařováním může být zakázaná a nebo by se to nevyplatilo. Nejčastěji tmelené vady bývají typu bublin, dutin nebo bodlin, které vznikají uzavřením plynu v chladnoucím kovu. Tmelením je vhodné opravovat vady o průměru do 5 až 6 mm a o hloubce do 4 až 5 mm. Nejčastěji se tmelení provádí na pohledových plochách odlitku. Ukázka odlitku z tvárné litiny s vadou, která lze opravit tmelením je na (obr. 5).

Tmely se skládají ze dvou složek a to z tvrdidel a plniv. Základem tvrdidel jsou epoxidové pryskyřice, které slouží jako lepivý základ tmelu. Epoxidy mají dobrou adhezi ke kovovým i nekovovým materiálům, a proto je vhodné je na tmelení používat. Plniva mají různý sortiment, různé vlastnosti a složení. Volba vhodného tmelu závisí na tmeleném materiálu a na požadavcích, které jsou na povrch kladeny. Plniva mohou být:

1. Kovy - například: vysokolegovaná ocel, litina, měď, hliník
2. Keramika
3. Diamantový prach (průmyslový)
4. Sklo ve formě prášku nebo kuliček

Kovové tmely, které slouží pro tmelení kovových materiálů lze obrábět, brousit, vrtat nebo řezat. Tmely keramického charakteru odolávají vysokému tření a mají vysokou životnost, ale lze je jen obtížně obrábět. U většiny tmelů je poměr plniva ke tvrdidlu velice tolerantní a záleží na nás, jak hustý nebo tekutý tmel chceme získat. Na vytvrzení to má zanedbatelný

vliv. Rychlost vytvrzení se pohybuje kolem 20 minut a udává jej výrobce daného tmelu [4].



Obr. 5: Vada určená k opravě tmelením

## 2.2. Opravy odlitků svařováním

Důležitý a častý způsob oprav odlitků je pomocí svařování a navařování. Vždy je potřeba vyhodnotit vadu odlitku a určit vhodný způsob opravy, ne vždy je možné opravit odlitek pomocí metody svařování. U některých typů odlitků může být tento způsob opravy zakázán konstruktérem a poté se jeví jako nejlepší možná metoda opravy pomocí tmelících přípravků, samozřejmě pokud se nejedná o vadu nepřijatelnou pro tmelení. V takovém případě by se jednalo o zmetkový kus odlitku. Také závisí na velikosti odlitku, přičemž malé a nerozpracované polotovary se z finančního hlediska nevyplatí opravovat. U odlitků větších rozměrů se oprava svařováním již vyplatí. Tato metoda se využívá na velký sortiment povrchových vad, například:

1. Lomy
2. Trhliny
3. Praskliny
4. Bubliny
5. Částečné nezaběhnutí

Svařovat lze oceli i litiny. Ocelové odlitky se většinou svařují běžnými ocelovými elektrodami. Litiny jsou obecně hůře svařitelné než oceli a svařují se elektrickým obloukem, jako přídavný materiál se používají elektrody na bázi niklu. Vždy při opravách svařováním dochází ke změně fyzikálních nebo mechanických vlastností základního materiálu v teplotně ovlivněném okolí svaru. Proto je často nutné po opravě svařováním provést žíhání

na odstranění vnitřního pnutí. Při návrhu optimálního postupu svařování je třeba zvolit vhodný přídavný materiál a optimální tepelný režim. Trhliny se musí před zavařením odstranit, aby se zamezilo jejich dalšímu šíření. Mezi výhody této metody oprav patří těsnost, trvanlivost, vysoká pevnost svaru a možnost opravy vad přímo ve výrobě. Nevýhodou pak je vznik vnitřních pnutí a deformací vznikajících při chladnutí svaru, vysoká cena těchto oprav, časová náročnost a změna struktury a mechanických vlastností svaru a jeho okolí. Některé materiály lze opravit svařováním jen velmi obtížně, zvláště pak vady jako bubliny, řediny nebo povrchové vměstky [5] a [6].

Nejvyužívanější je zavařování plamenem a kovovými elektrodami. Aby bylo zavařované místo tlakotěsné, nesmí se v přechodové vrstvě nacházet struskové vměstky, bubliny a neprovaření místa. Rovněž je třeba dbát na to, aby při chladnutí svaru nedošlo k vytvoření drobných trhlinek. Pro správné zavaření je nezbytně nutná pečlivá příprava místa pro svar. Musí se odstranit všechny nečistoty a materiál je nutno vybrousit až na čistý kov. Slévárny mají pro tyto opravy odlitků speciální technologické postupy pro různé druhy slitin [3].

### **2.3. Utěsňování odlitků mechanickým způsobem**

V některých případech se zjistí netěsnost odlitku v jeho jediném místě a tuto vadu nelze opravit žádnou předchozí metodou. Místo s takovou vadou lze za určitých podmínek opravit odvrtáním vady a zašroubováním zátky. Tloušťka stěny odlitku však musí být tlustá minimálně 20 mm. Průměr zátky se volí 0,75 až 1,5 násobku tloušťky stěny. Pomocí zašroubování několika zátek vedle sebe lze opravit u odlitků i krátkou trhlinu. Po opravě touto metodou je vhodné odlitek utěsnit impregnačním přípravkem [3].

### **2.4. Utěsňování odlitků pokovováním**

Ke zlepšení tlakotěsnosti menších odlitků lze využít metodu pokovování, která zároveň chrání povrch odlitků před korozí. Tloušťka kovové vrstvy se volí 0,6 až 1,2 mm podle velikosti netěsností. Pokovovat lze buď celý odlitek, nebo lze pokovovat pouze část odlitku rozprášením tekutého kovu na jeho povrch. Pokovené odlitky odolávají tlakům až 2,5 MPa. Nejvyužívanější materiály k pokovení jsou cín a zinek. Před pokovováním je dobré zdrsnit povrch tryskáním a zároveň odstranit rez a houbovitá místa [3].

### 3. Použití tmelů pro opravy vad odlitků

Opravy strojních součástí se často provádějí svařováním a navařováním. Tyto tepelné technologie nelze vždy použít z důvodu vysokých nákladů, nutnosti demontáže poškozené součásti, nedostatku času nebo nevyhnutelného tepelného ovlivnění základního materiálu v okolí opravovaného místa. U některých materiálů je však opravné svařování velmi obtížné. Jedná se především o vady typu ředin, malých bublin na povrchu nebo povrchových vměstků.

V posledních desetiletích se spolu s prudkým rozvojem chemického průmyslu začaly používat spolehlivé tmely a lepidla, a to při výrobě, údržbách a generálních opravách. Lepení a tmelení je doplňkovou technologií pro opravy kovových i jiných materiálů. Některé typy tmelů plněné kovem mají lesklý charakter, a proto se lze setkat s jejich názvy jako „tekuté kovy, molekulární kovy“ nebo „plastiková ocel“. Pojmy lepení a tmelení od sebe nelze oddělit, jelikož základ obou produktů je téměř shodný - epoxidové pryskyřice se používají i jako lepivý základ tmelů [4]. Na obrázku můžeme vidět repasovanou turbínu, která byla zbavena rzi a nečistot a následně zatmelena za pomoci moderních tmelů (obr. 6).



Obr. 6: Repasovaná turbína [3]

#### 3.1. Příprava povrchu na tmelení

Na povrchu kovu, který je vystaven okolnímu prostředí, vzniká adsorbovaná vrstva kyslíku, ze vzdušné vlhkosti se na povrch kovu vážou molekuly vody, tuky a tuhé částice. V důsledku působení okolního prostředí může vzniknout na povrchu tuhá vrstva s nízkou adhezí (vrstva oxidů). Pokud chceme, aby tmel pevně přilnul ke kovu, musíme tuto nežádoucí slabou vrstvu odstranit. To se provádí nejčastěji pomocí odmaštění organickými nebo alkalickými

rozpouštědly a mořením v kyselinách (kyseliny sírové a chlorovodíkové). Mezi mechanické způsoby čištění povrchu patří:

1. Kartáčování
2. Broušení
3. Tryskání
4. Obrábění

Tyto operace zároveň zdrsňují povrch materiálu, což přispěje k vysoké pevnosti spojovaných materiálů díky mechanickému zakotvení na zvětšeném povrchu. Poté je možno již nanést tmel v tekuté nebo pastovité formě. Ke vzniku pevného spoje musí molekuly tmelu nahradit adsorbované částice na povrchu kovu [4].

### **3.2. Složení tmelů**

#### **3.2.1. Epoxidové pryskyřice**

Kubiček [4] o pryskyřicích uvedl, že se v polovině 20. století začaly díky vyvinutí epoxidových a polyuretanových polymerů používat jakostní lepidla a tmely. První typ adheziva s názvem Alardit I byla uvedena na trh v roce 1946 firmou CIBA. Vývoj pokračoval adhezivy I. a II. generace na bázi akrylátů, akrylesterů a polyakrylátů.

Mezi nepoužívanější a nejznámější lepidelné složky tmelů patří epoxidové pryskyřice, které mají velmi rozdílný počet molekul v polymerním řetězci, rozdílnou molekulovou hmotnost a tím i rozdílné vlastnosti. Základním a nejrozšířenějším druhem epoxidů jsou epoxidy založené na bázi glycidyletherů 2,2 - bispropanu, dále také alifatické, cykloalifatické epoxidy a hydantoinové epoxidy vhodné pro vysoký stupeň plnění s dobrou tekutostí.

Vytvrzování epoxidových pryskyřic je proces chemických reakcí, které převádějí nízkomolekulární tavitelné a rozpustné monomery a oligomery na netavitelné a nerozpustné polymery. Na použitém tvrdidle a dalších přísadách závisí různá doba vytvrzování a mechanické vlastnosti. Nejčastěji se můžeme setkat s tvrdidly pro epoxidy na bázi aminů (alifatické, aromatické diaminy), polyetylenem (polyamidy, amidoaminy). Aminové tvrdidlo na bázi fluoridu boritého vytvrzuje nejrychleji.



### 3.2.2. Vlastnosti epoxidových pryskyřic

Na vlastnosti epoxidových pryskyřic jsou kladeny velké nároky [6]. Musí splňovat vysoké technické požadavky, jako je výborná adheze ke kovovým i nekovovým materiálům. Ta je zajištěna epoxidovými a hydroxylovými skupinami pryskyřičných základů i nitridovou skupinou vnesenou tvrdidlem, například dikyandiamidem. U epoxidových skupin má vliv na adhezi jen první fáze kontaktu tmelu s povrchem, tj. při smáčení povrchu, ale díky dipólovému momentu působí mnohem účinněji než hydroxylové. Epoxidové skupiny mizí reakcí s tvrdidly, s nimiž vytvářejí makromolekuly. Vzniká hustě zesíťovaná matrice tmelu s vysokou pevností a tvrdostí. Kohezní pevnost pryskyřic neboli Van der Waalsovy síly mezi makromolekulami zajišťují tmelu dobré mechanické vlastnosti. Při vytvrzování se tmely i samotné pryskyřice vyznačují nepatrnými objemovými změnami.

### 3.2.3. Plniva

Druhy plniv [4] a [6]:

1. Kovy - C-Mn ocel, vysokolegovaná CrNi ocel, litina, Cu, Cu+Zn, Cu+Sn, Al
2. Keramika -  $ZrO_2$ , SiC, TiC,  $Al_2O_3$ , WC
3. Sklo - prášek nebo kuličky
4. Diamantový prach - průmyslově vyrobené diamanty

Tmely plněné kovem slouží k opravě vad u kovových odlitků, prasklých potrubí, kavitovaných ploch lopatek turbín, ložiskových uložení na hřídelích a v převodových nebo motorových skříních. Po vytvrzení se tyto odlitky mohou obrábět, vrtat nebo řezat.

Tmely plněné oxidickou keramikou nebo karbidy jsou určeny proti opotřebení a lze je obrábět většinou jen broušením. Mají vytvořit hladký a tvrdý povrch, který odolává eroznímu a abrazivnímu opotřebení s dobrou korozní odolností. Tvar částic plniv má vliv na viskozitu tmelu. Například ostrohranné částice používané u keramiky viskozitu tmelu snižují a zvyšují mikronapětí po vytvrzení, to může mít za následek vznik trhlin. Částice sférické, které se vyskytují u tmelů plněné kovem, zvyšují viskozitu tmelu a její zabíhavost. K mikronapětí zde nedochází.

Plnivo v pryskyřicích zvyšuje dobu zpracovatelnosti tmelu, snižuje smrštivost a růst reakční teploty směsi. Dále má za následek změnu teplotní roztažnosti, změnu sklonu k praskání a mění se i chemická odolnost. Kovy, které mají sférický tvar zrn a malou adsorbční schopnost dosahují plnění až 95 %. Keramika s mikropóry a ostrohrannými

částicemi dosahuje plnění jen 65 %. Velikost částic plnicích prášku se pohybuje od 1 do 5 $\mu$ m, výjimečně až do 30  $\mu$ m.

### 3.3. Tmely a jejich vlastnosti

#### 3.3.1. Vlastnosti moderních tmelů

Moderní tmely jsou tolerantní vůči míchání obou složek, nemusí se tedy přesně měřit nebo vážit. Mají dostatečnou elasticitu pro materiály s různým koeficientem teplotní roztažnosti. Standardní tmely odolávají teplotám do 120 - 150 °C, speciální mohou dlouhodobě odolávat teplotě až 250 °C. Některé mohou odolávat i teplotám kolem 800 °C. Mají dobré tixotropní vlastnosti, materiál se udrží o velké tloušťce i na svislé stěně. Vysoká objemová stálost a minimální smrštivost (0,02 - 0,005 %). Jednotlivé složky jsou barevně odlišné. Jsou antikorozi a antimagnetické [4]. Na přiložené dokumentaci (obr. 7) můžeme vidět údaje a hodnoty tmelů od firmy Diamant Plasticmetall.

#### **Technická data**

Specifická hmotnost	DIN53454	2 - 2,5 g/cm <sup>3</sup>
Pevnost v tlaku	DIN53454	160 N/mm <sup>2</sup>
Tvrdost [Shore D]	DIN53505	87 - 89
Pevnost v tahu	DIN53455	86 N/mm <sup>2</sup>
Pevnost ve střihu	DIN53283	35 N/mm <sup>2</sup>
Pevnost v ohybu	DIN53452	95 N/mm <sup>2</sup>
Rázová houževnatost	DIN53453	4.8 N/mm <sup>2</sup>
E-modul	DIN53457	14500 N/mm <sup>2</sup>
Tepelná vodivost	DIN53612	0,7 - 0,9 W/mK
Koeficient délkové	(+20°C to +30°C)	25 - 40 x 10 E-6
Tepelná odolnost (dlouhodobá)	HF	- 40 do +160°C
	HF WF(T)	do +250°C
Tepelná odolnost (krátkodobá)	HF	max. +220°C
	HF WF(T)	max. +500°C

Všechny materiálové hodnoty jsou hodnotami průměrnými a závisí poměru míchání, množství materiálu a na podmínkách okolí. Zde uvedené materiálové hodnoty odpovídají normálním podmínkám (STP) +20°C (273K) a 1013mbar (1013hPa).

Obr. 7: Údaje tmelů firmy Diamant Plasticmetall [4]

### 3.3.2. Tmely používané v ČR

V České republice je řada firem nabízející spolehlivé systémy tmelů pro opravy a údržbu odlitků z různých materiálů. Kubíček [4] popisuje tmely a impregnační média od firmy Diamant GmbH. Tato firma je renomovaná v oblasti tmelení odlitků. Diamant GmbH se zaměřuje na opravárenské tmely (obr. 8 a obr. 9) označené jako Diamant Metallplastic typů Plastic A, Plastic A/A, Superior a Multimetal s kovovým práškovým plnivem, které se aktivuje tvrdidlem. Jednotlivé typy tmelů jsou dle plniv vhodné pro litinu, ocel, hliník, měď a mosaz. Plnivo se mísí s pryskyřicí v přibližném poměru 2 : 1, závisí to na požadované konzistenci tmelu, tvrdosti a rychlosti vytvrzování. Doba vytvrzení také závisí na typu tmelu a pohybuje se od 15 minut do 4 hodin. Tyto tmely mají vysokou tepelnou odolnost, která dosahuje až 350°C, pevnost v tlaku je 180 MPa a pevnost v tahu cca 80 MPa. Speciálně pro slévárenské účely tato firma vyrábí minerální plastické tmely Spachtel plastik pro odlitky a Model plastik, který slouží pro opravy modelů a odlévacích forem. Doba vytvrzení těchto tmelů je 20 minut a dosahují pevnosti v tlaku 130 MPa. Tato firma se zaměřuje mimo tmelení i na impregnaci a nabízí impregnační systém Dichtol. Tento systém má vynikající kapilární vztlínavost a utěšňuje vlasové trhliny a mikropóry šířky 0,1 mm bez nutnosti použití vakua nebo zvýšeného tlaku. Vytvrzení probíhá při pokojové teplotě rychlostí zhruba 1 hod. na 1 mm tloušťky stěny. Dichtol se aplikuje máčením po dobu 30 min. nebo několikanásobným postříkáním v krátkých časových intervalech. Po vytvrzení odolává systém tlaku až 350 barů a teplotě 130°C, krátkodobě až 400°C. Impregnační výrobek Dichtol je podrobněji popsán v kapitole 4.4.



Obr. 8: Nanášení opravného tmelu [5]



Obr. 9: Zatmelený odlitek tmelem od firmy Diamant [6]

## 4. Opravy vad odlitků impregnací

Odlitky jsou impregnovány z několika důvodů, z nichž nejdůležitější je, aby se zabránilo netěsnostem. Mezi další důležité důvody pro impregnaci patří zabránění korozi, zlepšení povrchových ploch a odstranění zárodků nečistot, které mohou způsobit růst bakterií. Netěsnostem může být zabráněno tím, že zablokujeme póry v každém bodě podél své délky, zatímco všechny ostatní cíle můžou být dosaženy pouze tehdy, jsou-li póry blokovány jak na povrchu, tak i v hloubce [7]. Díky smršťování kovu po odlití mohou v odlitku vznikat vady, jako jsou:

1. Staženiny nebo mikrostaženiny
2. Řediny
3. Makrobubliny
4. Porezita a mikroporezita

### 4.1. Vady opravitelné impregnací

U odlitků dochází po odlití kovu do formy ke smršťování kovu v důsledku chladnutí. Smršťování má velký vliv na výslednou jakost odlitku a může docházet ke vzniku staženin a ředin. Elbel [1] o otevřených staženinách uvádí, že se jedná o vnější otevřené dutiny, které mají často hrubě krystalický, zoxidovaný povrch, zasahující do určité hloubky v odlitku. Objevují se v místě pod nálitkem po jeho odstranění, nebo v místě tepelného uzlu, který nebyl nalitkován. V takovém případě se tvoří pouze ojediněle jako otevřená staženina, neboť po naplnění formy ztuhne ihned vrstva povrchu odlitku a staženina vzniká v tlustší stěně nebo v místě uzlu za podtlaku, jako staženina uzavřená.

Řediny lze popsat jako malé staženiny, které tvoří místní shluky. Tyto shluky ředin se vyskytují v tlustých stěnách nebo tepelných uzlech. Vznik staženin a ředin souvisí se stahováním materiálu. Oceli, litiny s kuličkovým grafitem a slitiny hliníku typu AlSi (siluminy) patří mezi stahující materiály. Naopak litiny s lupínkovým grafitem mají díky vylučování grafitu a grafitické expanzi výrazně menší sklon k tvorbě staženin a ředin. Mezi další vady, které lze opravit impregnací patří porezita a mikroporezita. Ta se nejčastěji objevuje u slitin hliníku. Tyto uvedené vady můžou vést k tomu, že odlitek neprojde zkouškou na tlakotěsnost a je nutné provést opravu. Na obrázku můžeme vidět dutiny, které je možné opravit pomocí impregnace (obr. 10).

Staženiny a řediny jsou jedny z nejčastěji se vyskytujících vad a díky nim odlitek nemusí splnit požadované zkoušky na tlakotěsnost. V případě, že odlitek touto zkouškou neprojde, tak je vyřazen jako zmetek, nebo jej můžeme opravit pomocí utěšňování, nejčastěji impregnací. To se provádí pomocí impregnační pryskyřice. Ta se nanese na odmaštěný, suchý odlitek a vyplní dutiny pórů. Určení, ve které fázi výrobního postupu se bude impregnace provádět, závisí na druhu odlitku. Nejčastěji se impregnace aplikuje po obrobení výrobku, u jiných typů odlitků se může impregnovat celá série odlitků již v surovém stavu. Případně je možné nanést impregnační kapalinu jen na netěsnící část odlitku. Existuje více způsobů impregnace a její aplikace na výrobek. Například nanesení impregnační kapaliny ponořením odlitku do média (obr. 11), nanesení impregnační kapaliny štětcem, sprejem (obr. 12) nebo utěsnění odlitků vakuovou impregnací [8].

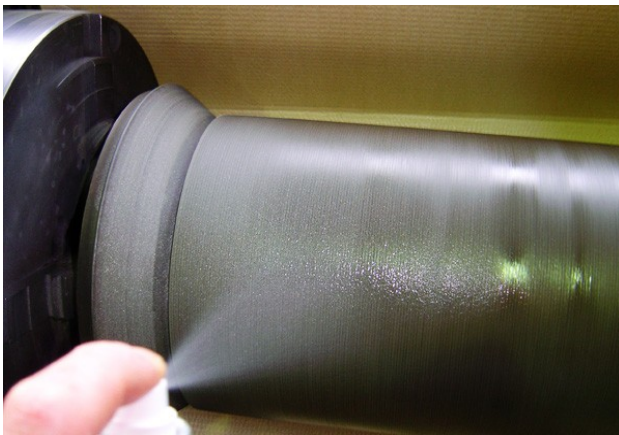


Obr. 10: Ukázka opravitelných dutin impregnací [7]





Obr. 11: Impregnace odlitků ponořením [8]



Obr. 12: Impregnace odlitků pomocí spreje [9]

## 4.2. Látky sloužící k impregnaci

1. Impregnace látkami snižujícími korozní proces - 3-5% roztok chloridu železitého
2. Impregnace vodním sklem - používají se vodní skla sodné nebo draselné, utěšňuje se buď tlakováním, nebo pomocí autoklávu.
3. Impregnace tungovým olejem - světlehnědá sirupovitá tekutina s bodem tuhnutí kolem 21°C. Postup impregnace tungovým olejem probíhá způsobem suchého vakua v autoklávu. Tímto způsobem lze utěšňovat odlitky ze všech druhů slitin pro pracovní teploty do 450°C a tlaky až 21 MPa.
4. Impregnace polyesterovou pryskyřicí - jedná se o látku používanou běžně k výrobě polyesterových laků. K utěšňování se kombinuje s katalyzátory.
5. Impregnace bakelitovým lakem - lze utěšňovat odlitky z různých druhů slitin do pracovní teploty 250°C a tlaku 2 až 2,5 MPa. Bakelitový lak se rozpouští v lihu do měrné hmotnosti 0,95 až 1 [3].

## 4.3. Princip a postup impregnace

Po opracování odlitků může dojít k odkrytí ředin nebo mikrostaženin, které mají za následek netěsnost odlitku. Tyto vady je nutné opravit, aby odlitek nemusel být vyřazen jako zmetek. K tomu slouží impregnace, která má za úkol vyplnit dutiny pórovitosti, staženin nebo ředin a zajistit tak požadovanou těsnost odlitku. Výhodou této metody je zamezení možné tvorby koroze odlitku díky utěsnění dutin impregnační kapalinou. Dalším důvodem impregnace je odstranění kyselých nebo alkalických solí v pórech, které by se uvolňovaly

při galvanických úpravách výrobku. Impregnaci lze provádět u většiny odlitků, nejvíce je však využívána u odlitků vyrobených technologií litím pod tlakem a gravitačním litím. Nejčastěji se impregnace aplikuje po obrobení odlitku, u jiných typů odlitků se může vyplatit impregnovat celá série odlitků již v surovém stavu. Případně je možné nanést impregnační kapalinu lokálně na netěsnící část odlitku. Na obrázku můžeme vidět netěsnost dílu pomocí unikajících bublin pod vodou a následný opravený díl již bez úniku vzduchu (obr. 13). Společnost IMPCO [9], která se zabývá utěšňováním materiálu, nabízí impregnační přípravky pro různé druhy materiálu. Existují tedy různá impregnační media pro utěsnění výrobků. Nejzákladnější a nejvíce využívaná impregnační kapalina je určena pro kovové odlitky, ty mají velké zastoupení a nabízí celou řadu medií s různými vlastnostmi dle požadavků na odlitek. Dále se utěšňují mikropraskliny slitin niklu a chromu, tyto tmely mají středně vysokou teplotní odolnost a vysokou chemickou odolnost. Podobné vlastnosti mají i pryskyřice určené pro impregnaci keramických materiálů. Společnosti nabízí také přípravky na utěsnění nástrojových materiálů, jako jsou slinuté karbidy.

Střítecký [8] uvedl základní postup impregnace jako vyplnění vnitřních dutin (kanálek porezity) impregnační pryskyřicí s následnou polymerizací, a tím zabezpečení trvalého utěsnění dílu. Aplikace impregnace se skládá z:

1. Odmaštění impregnovaného dílu
2. Odstranění vlhkosti z pórů
3. Vyplnění dutiny pórů impregnační kapalinou
4. Vtlačení impregnační kapaliny do pórů atmosférickým tlakem
5. Odstranění přebytečné impregnační kapaliny z povrchu dílu a vytvrzení impregnační kapaliny



Obr. 13: Netěsnící a těsnící výrobek [10]

#### **4.4. Impregnace přípravkem Diamant Dichtol**

Způsob utěsnění před nebo po opracování odlitků je možné provést s využitím výrobku Diamant Dichtol, který je dostupný v ČR. Tento výrobek vniká hluboko do jemných ředin a to bez použití vakua nebo tlaku. Výrobce udává úplné vytvrzení za pokojové teploty 20°C od 4 do 24 hodin. Dichtol HTR, který slouží k utěšňování dutin do 0,1mm se vytvrzuje 1 hodinu po smáčení při teplotě 250°C po dobu 3 hodin. Dichtol HTR odolává tlaku 350 barů a je teplotně odolný od -40°C do 500°C. Přípravky Dichtol jsou bezbarvé a nízkoviskózní. Na internetových stránkách společnosti Diamant [10] je produkt Dichtol prezentován jako vyzkoušený jednosložkový systém k odstraňování porezity a netěsností odlitků, svarů, strojních dílů, potrubí, chladičů, ráfků kol, ventilů a podobně. Je připraven k okamžitému použití. Jeho podstatou je správně zvolený vztah rozpouštěcí látky a polymeru. Má jednoduché a mnohostranné využití s možností více způsobů aplikace (natírání, nástřík, injektáž, ponoření) a umožňuje spolehlivou impregnaci netěsných odlitků. Těsní malé (0,1mm), nebo velké póry (do 0,5mm). Dichtol rovněž zajistí těsnost pod tlakem u opotřeбенých dílů. Zvláště je vhodný k utěsnění místních netěsností, kde lze provést impregnaci přímo na místě.

#### **4.5. Vakuová impregnace**

Inovativní konstrukce výrobků a vývoj výrobní technologie vyžadují stále větší požadavky na kvalitu utěšňování odlitků. To má za následek vývoj moderních impregnačních prostředků a metod jejich aplikace. Utěšňování pomocí vakuové impregnace je moderní technologie, která utěšňuje širokou škálu porézních materiálů. Dříve se úprava pomocí impregnace brala spíše jako poslední nouzová varianta a možnost zachránit odlitek před vyřazením z výrobního procesu. Výrobci byli k této metodě skeptičtí, jelikož byla drahá a některá dřívější impregnační media zanechávala na odlitcích lepivé pozůstatky nečistot. Docházelo k nerovnoměrnému utěsnění a tím i k dlouhodobé nespolehlivosti výrobků. Dříve se při vakuové impregnaci používalo vodní sklo, dnes toto medium nahradila metakrylátová pryskyřice, která tvoří základ všech moderních impregnačních přípravků. Zajišťuje dobré těsnicí vlastnosti, pružnost, chemickou a teplotní odolnost a obrobitelnost. Na obrázku můžeme vidět základní princip utěšňování pórů (obr. 14).

V současnosti se řadí vakuová impregnace k upřednostňovaným spolehlivým technologickým procesům, které jsou na vzestupu a i díky tomu mohou konstruktéři v dnešní době navrhovat nové, lehké, tenkostěnné tlakové odlitky, které musí odolávat a těsnit

při vysokých tlacích. Bez impregnace by byla u těchto druhů odlitků příliš vysoká zmetkovitost. Tento vývojový proces by tedy bez inovativních metod impregnace a impregnačních medií nebyl v takové míře možný. Cena těchto operací prováděných externími společnostmi se pohybuje od 18 Kč na 1 kg odlitku a výše. Průměrná spotřeba impregnační kapaliny, tedy pryskyřice se pohybuje kolem cca 7-8 g na 1kg odlitku [11].



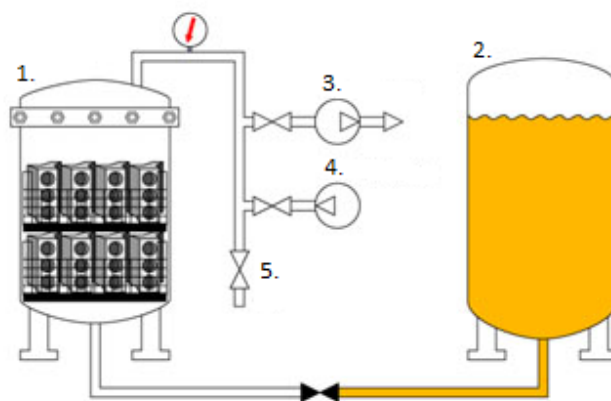
Obr. 14: Princip utěšňování pórů [11]

#### 4.5.1. Rozdělení vakuové impregnace

Webová encyklopedie Wikipedia [12] zmiňuje o utěsnění pórovitosti a rozdělení vakuové impregnace následující: Existuje celá řada metod, které mohou být použity pro impregnaci kovových částí. Zvolená metoda závisí na požadavcích, specifikaci a tmelu, který bude použit. Všechny dnešní metody impregnace jsou účinné a všechny porézní dutiny v odlitcích jsou uzavřeny, vytvrzeny a trvale utěsněny.

##### Suché vakuum

Je to nejkomplexnější a nejefektivnější způsob impregnace. Impregnace suchým vakuem vyžaduje dvě samostatné nádrže, jednu pro uložení koše s výrobky a druhou pro ukládání těsnícího media (obr. 15). Přístroje vykonávající tyto těsnící operace jsou autoklávy a mohou mít menší rozměry (obr. 16) až po stroje zapuštěné do země určené k impregnaci velkých odlitků. Tento proces je nejvhodnější pro kovové díly, které obsahují velmi malé, mikroskopické póry, které mohou být neviditelné pouhým okem. Postup této metody je uveden v následující podkapitole 4.5.2. [12].



Obr. 15: Impregnace suchým vakuem - 1. Tlaková nádoba, 2. Nádrž s těsnícím médiem, 3. Vakuová pumpa, 4. Vzduchový kompresor, 5. Přepouštěcí ventil [12]



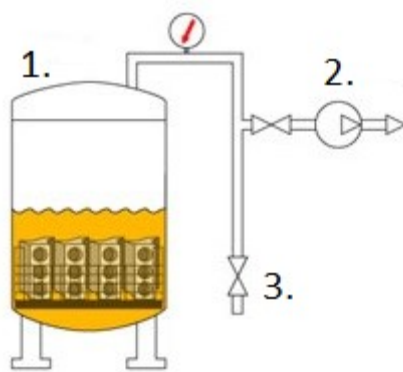
Obr. 16: Autokláv [13]

### Mokrý vakuum

Cyklus vyžaduje oproti způsobu utěšňování suchým vakuem pouze jeden zásobník, který obsahuje těsnící kapalinu (obr. 17). Procesní kroky jsou následující:

Díly se vloží do připraveného koše a ten se umístí do nádrže s těsnící kapalinou. Z těsnící nádoby se vysaje veškerý vzduch, včetně vzduchu v pórech dílů a tím dosáhneme vakua. Následně se vakuum uvolní a požadovaný tlak se zvýší pomocí stlačeného vzduchu. Poté uvolníme tlak z nádrže. Pracovní koš se odstraní z nádrže a všechny díly jsou promyty a zpracovány podle kovového materiálu a specifikace výrobků. Tuto metodu je možné využívat také bez přetlaku stlačeným vzduchem. Dosáhly bychom tedy tlaku atmosférického [12].





Obr. 17: Impregnace mokrým vakuem - 1. Tlaková nádrž, 2. Vakuová pumpa, 3. Přepouštěcí ventil [12]

#### 4.5.2. Postup impregnace suchým vakuem

Pracovní postup firmy Amco, s.r.o. pro utěšňování suchým vakuem objasnil Haluška [11] následovně. Postup vakuové impregnace začíná naskládáním odlitků do připraveného koše a ten se pomocí zdvihacího zařízení dostane do autoklávu, který se uzavře. Odčerpáním vzduchu ze všech pórů odlitků, dosáhneme suchého vakua. Autokláv udržuje automaticky tlak na maximální hodnotě 5Mbar. Poté se přepustí impregnační pryskyřice za stálého udržování vakua do autoklávu. Tato pryskyřice zaplní všechny dutiny a póry odlitků. Koš zůstává ponořený i po vyrovnání tlaků, aby se medium dostalo i do těch nejtenčích pórů. Po ukončení této vakuové operace se koš přesune nad okapovou nádrž, která slouží zároveň jako zásobník pro autokláv. S košem s odlitky je nutné v případě potřeby manipulovat, aby se impregnační látka dostala i ze zaslepených otvorů. Zbytek impregnační pryskyřice se uvolní z obrobených i neobrobených ploch pomocí studeného oplachu.

Polymerace probíhá během ponoření do horké vodní lázně o teplotě 90°C. Pobyt koše v této lázni trvá 15 minut a je klíčový pro získání tlakotěsnosti odlitku. Doba celé této operace bývá do 30 minut a její délka se mění s ohledem na typ slitiny, velikost a členitost odlitku. V případě dvojité impregnace proběhne celý tento cyklus opakovaně. Pokud je to nutné, mohou se odlitky před impregnací odmastit. Do vytvrzovací lázně nebo následující vany po impregnaci lze přidat i pasivační látku, což je krátkodobá ochrana proti korozi.

## Praktická část

### 5. Návštěva slévárny Tafonco, a.s.

Abych se blíže seznámil s problematikou tmelení, navštívil jsem slévárenskou firmu, která provádí mimo jiné tmelení odlitků. Tafonco a.s. [13] na svých internetových stránkách uvádí, že slévárenská výroba v Kopřivnici byla zahájena v roce 1860 a od samého počátku je spjata s výrobou vozidel - kočárů, bryček přes železniční vagóny až po automobily. Dnešní Tafonco a.s. je dceřinou společností firmy Tatra trucks, a.s., tradičního výrobce nákladních automobilů. V současné době prodávají odlitky z šedé a tvárné litiny, oceli a slitin hliníku firmám z automobilového, stavebního a strojírenského průmyslu, včetně dodávek pro zemědělskou techniku, traktory a vysokozdvizné vozíky. Jsou vybaveni i modelárnou, kde vyrábí dřevěné, kovové, pryskyřičné i polystyrénové modely všeho druhu a jaderníky pro celou škálu odlitků od hmotnosti 0,1 kg do 3 500 kg.

Při návštěvě slévárny Tafonco a.s. jsem byl seznámen s celým procesem výroby. Od sestavení a slisování pískových forem až po opracování a kontrolu odlitků. Zde jsem se dozvěděl více o tmelení odlitků. Tuto metodu oprav zde využívají denně. Pracovník, který kontroluje odlitky, zhodnotí zda je vada většího charakteru a tedy vhodná opravit zavařováním nebo pomocí rychlejšího a levnějšího tmelení. Vzhledem k rychlému tuhnutí kovových tmelů zaměstnanec firmy počká, až se mu nahromadí více součástí, které je potřeba opravit pomocí tmelu. Do misky, kterou dodávají výrobci spolu s tmely, se smíchají dvě složky v potřebném poměru, který je velice tolerantní a závisí na nás, zda chceme tmel tekutější (více epoxidové pryskyřice) nebo tužší (více plniva). Byly mi předvedeny dva druhy tmelů a to DURCO – F, výrobce Durcorit S.L. a GAZOL, od výrobce Dawex Chemical s.r.o. Bylo mi řečeno, že tmel firmy Diamant Metallplastic používali v minulosti a již jej nevyužívají vzhledem k jeho vysoké ceně. S oběma tmely se pracovalo téměř shodně, jediný rozdíl byl v tom, že tmel od firmy Durcorit měl jak plnivo, tak i tvrdidlo ve formě pasty a tmel Gazol měl plnivo ve formě kovového prášku. Po smíchání dvou složek a vytvoření potřebné hustoty tmelu jej pracovník nanesl na vadu odlitku a lehce jej zahladil. Poté počkal potřebnou dobu určenou výrobcem, aby se tmel vytvrdil a přebrousil přebývajícím tmel na povrchu odlitku brusným kotoučem a tím i vyhladil zatmelenou plochu.

## 6. Návštěva podniku Slévárny Třinec, a.s.

Navštívil jsem Slévárny Třinec, a.s., abych si rozšířil své poznatky ohledně slévárenství a tmelení odlitků. Slévárenství má v Třinci dlouholetou tradici, datuje se již od roku 1842. Tyto slévárny sloužily především ke spolupráci s potřebami hutí, především Třineckých železáren, které sídlí vedle sléváren. V roce 1989 musela proběhnout změna chodu těchto sléváren z hutní výroby na ryze komerční. Díky tomu mohla v roce 1999 vzniknout samostatná dceřina společnost Třineckých železáren, a to společnost Slévárny Třinec, a.s. [14], které na svých webových stránkách u profilu společnosti uvádí, že výroba odlitků je soustředěná do sléváren litin a slévárny oceli. Součástí provozů je středisko výroby neželezných kovů a středisko opracování odlitků. Společnost disponuje vlastní dřevomodelárnou a kovomodelárnou. Odlitky jsou dodávány dle požadavků v surovém stavu, základovaném, ohrubovaném nebo opracované na hotovo ve vlastním obráběcím středisku nebo v kooperaci. Provádí nedestruktivní zkoušky - např. rentgen, ultrazvuk, magnetickou polévací zkoušku a jiné. Téměř 60 % objemu výroby je na export především do Evropy a v některých případech i do zámoří.

Ve slévárnách Třinec jsem se rovněž seznámil s opravným tmelením odlitků. Postup aplikování tmelu na odlitek je shodný s postupem, který jsem uvedl v předešlé kapitole 5. Slévárna Třinec je rozdělena na dvě hlavní části a to na slévárnu oceli, kde se vyrábí odlitky od 5 do 6000 kg a na slévárnu litiny, kde se vyrábí odlitky o hmotnosti od 2000 až do 50 000 kg. Přičemž možnost výroby je kusová, malosériová, sériová a hromadná. Tmelení vad se většinou provádí na odlitcích menší hmotnosti, jelikož u velkých odlitků bývají velké vady. Nebo se u velkých odlitků provádí tmelení univerzálním plnicím dvousložkovým tmelem Variol ULTRA (obr. 18) po celé ploše povrchu kvůli snížení drsnosti, a poté se odlitek přelakuje v lakovně. Ukázka rozpracovaného tmelení velkého odlitku tmelem Variol ULTRA je na (obr. 19). Určit procentuálně kolik malých odlitků se opravuje tmelením je obtížné, závisí to na složitosti dílu, materiálu a způsobu odlévání. Tmelí se zhruba od 0 do 10 % litinových odlitků. Oceli se opravují tmelením častěji, u složitých dílů se může hodnota dostat až na 40-50 % odlitků, které je nutno opravit pomocí tmelu. Naopak u některých jednoduchých dílů hromadné výroby se tmelení neprovádí, jelikož nevzniknou žádné povrchové vady a tudíž by nebylo co tmelit.

Metoda tmelení se v této slévárně využívá denně, a proto mi byly ukázány odlitky opravené tmelením. První odlitek (obr. 20) je zhotoven z šedé litiny GJL250 a byl opraven

dvousložkovým tmelem METALIK od firmy Polykar, který má vysoký obsah hliníku. Druhý odlitek (obr. 21) z tvárné litiny GJS500-7 byl taktéž opraven tmelem METALIK. Oba tyto odlitky byly po zatmelení a vytvrzení obroušeny a vyhlazeny brusným kotoučem. Na ocelové odlitky se ve slévárně používá dvousložkový kovový tmel METALOX A+B. Nicméně aby se mohly provádět opravy tmelením, je nutné mít to odsouhlasené zákazníkem, nebo to mít napsané ve smlouvě zakázky. Pravdou je, že asi 70 % zákazníků odmítá tolerovat opravy tmelením a požadují odlitky téměř bez vad. V takovém případě jsou odlitky s vadami vyřazeny jako zmetky. Je tedy důležité, aby pracovníci sléváren vyhodnotili zakázku (složitost dílu, počet kusů, materiál) správně a posoudili, zda dokážou odlévat odlitky s co nejmenším počtem vad. Dle toho se vyhodnotí, zda se zakázka slévárně z finančního hlediska vyplatí. Vše tedy závisí na domluvě se zákazníkem a na vyjednání podmínek zakázky tak, aby na to přistoupily obě strany.



Obr. 18: Tmel Variol ULTRA



Obr. 19: Odlitek tmelený přípravkem Variol ULTRA



Obr. 20: Ukázka prvního zatmeleného odlitku



Obr. 21: Ukázka druhého zatmeleného odlitku



## 7. Vlastní zkušenost s tmelením odlitků

Bylo mi umožněno vyzkoušet si ve slévárenské dílně na ekonomické fakultě VŠB-TUO tmelení odlitků a poznat tak, jak se pracuje s tmely od firmy Diamant. Zjistil jsem, jak je tolerantní poměr složení tvrdidla s plnivem, a vyzkoušel jsem si tmelení vyvrtaných děr různých průměrů.

Dostal jsem dva umělecké odlitky, na kterých jsem si tmelení mohl zkusit. Plochý obdélníkový odlitek o délce 45cm byl zhotoven z šedé litiny (obr. 22). Na tomto odlitku jsem tmelení prováděl pouze na pravé části vzhledem k jeho velikosti. Druhý, plochý výrobek kulatého tvaru s podobiznou mužské hlavy byl vytvořen z bronzu (obr. 23).



Obr. 22: Odlitek z šedé litiny



Obr. 23: Odlitek z bronzu

### 7.1. Použité náčiní a pomůcky

Litinový a bronzový odlitek, kovové plnivo Diamant Ferro superior dunkel a bronzové plnivo Diamant Bronze plastic A (obr. 24), epoxidové pryskyřice Diamant WF a Diamant strahlfest, svěrák namontovaný na pracovním stole, vrtačka značky Narex EP 13 E-2H3, vrtáky o průměru 2, 3, 4, 5, 6 a 10 mm, vysunovací metr, ocelový kartáč, bruska, brusný papír, dvě misky, malá špachtle a fotoaparát na fotodokumentaci.



Obr. 24: Kovové a bronzové plnivo



## **7.2. Postup opravy odlitků metodou tmelení**

### **7.2.1. Krok č. 1 - Zvolení vhodných míst pro tmelení**

Jelikož na těchto odlitcích nebyly vady, které by byly vhodné k opravě tmelením, musel jsem tyto vady vytvořit uměle. Na obou odlitcích jsem si zvolil a zaznačil místa vhodná pro vytvoření dutin a jejich následné tmelení. Snažil jsem se zvolit místa o větší hloubce vzhledem k tomu, že se jednalo o ploché odlitky a bronzový odlitek měl hloubku 7-16 mm. Hladký povrch byl další potřebný faktor zvolených míst. U bronzového odlitku to byl problém, jelikož na hlubších místech mužské podobizny byly detaily obličejce, a ty se mohly následnými operacemi ztratit. Nicméně pro potřebu vyzkoušení tmelení bronzu to stačilo.

### **7.2.2. Krok č. 2 - Tvorba dutin pomocí vyvrtávání**

Poté, co byly zaznačeny místa pro vytvoření dutin, jsem mohl začít s jejich vyvrtáváním. Zvolil jsem vrtáky o průměru 2, 3, 4, 5, 6 a 10 mm. Na odlitek z šedé litiny jsem použil všechny tyto vrtáky. Vrták o průměru 10 mm jsem použil z experimentálních důvodů, jelikož takto velké dutiny by se již správně tmelit neměly. U bronzu jsem použil všechny vrtáky kromě desetimilimetrového. Hloubka všech vyvrtaných děr je 3 - 4 mm. Na fotografii můžeme vidět rozložení jednotlivých děr na odlitcích (obr. 25) a (obr. 26). Poté jsem dutiny očistil ocelovým kartáčem a suchým hadrem od špon a nečistot. Vzhledem k tomu, že tmelení proběhlo krátkou dobu před vyvrtáním uměle vytvořených vad, nemusel jsem povrch materiálu odmašťovat.



Obr. 25: První vyvrtaný odlitek



Obr. 26: Druhý vyvrtaný odlitek

### **7.2.3. Krok č. 3 - Smíchání dvou složek tmelu a tmelení dutin odlitků**

Na opravu vad, tedy vyvrtaných dutin tmelením jsem použil tmely od německé firmy Diamant, která se zaměřuje na výrobu tmelů a impregnačních tekutin. Na litinový odlitek jsem použil tmel, který se skládá z práškového plniva Diamant Ferro superior dunkel s obsahem kovu 96 % a jako tvrdidlo posloužila pryskyřice Diamant WF. Ta je vhodná pro všechny složky základního plniva a vyznačuje se vysokou teplotní odolností až do 250°C. Do misky jsem dal 3 díly kovového plniva ku 1 dílu tvrdidla WF. Zvolil jsem tedy poměr udávaný výrobcem 3:1, ten mi měl zajistit pastovitou konzistenci. Poměr 1:1 by znamenal líčí konzistenci. Obě tyto složky byly řádně promíchány, aby se obě složky spojily a v tmelu nezůstaly hrudky. Poté jsem již začal po malých dávkách nanášet pomocí malé špachtle tmel na dutiny na povrchu odlitku. Postupoval jsem od dutin nejmenšího průměru až po největší. Důležité bylo dát si pozor, aby v dutinách nevznikaly plynové bubliny, a aby se tyto vady zcela vyplnily tmelící pastou. Tento postup nanášení a roztírání tmelu jsem aplikoval na všechny dutiny, dokud nebyly správně vyplněné. Zatmelený odlitek z šedé litiny jsem odložil na rovné suché místo a začal jsem připravovat tmel určený na bronz.

Příprava tmelu probíhala shodně jako u předchozího tmelu na litinu. Do misky jsem nasypal 3 díly plniva Diamant Bronze plastic A s obsahem kovu 92 %, který je určen k tmelení bronzu, mosazi a mědi. Má dobrý kovový charakter a je po vytvrzení opracovatelný. K plnivu jsem přidal 1 díl tvrdě elastického tvrdidla Diamant strahlfest. Po potřebném promíchání jsem začal tmelit vyvrtané dutiny v odlitém materiálu. Když byly tyto dutiny zcela vyplněny tmelem, který mohl nad rovinou povrchu trochu přesahovat, odlitek jsem odložil na suché rovné místo, aby se mohl tmel řádně vytvrdit a tmel nevytekl z dutin. Oba zatmelené odlitky jsem ihned po dokončení tmelení řádně zdokumentoval (obr. 27) a (obr. 28).



Obr. 27: Čerstvě zatmelený odlitek z šedé litiny



Obr. 28: Čerstvě zatmelený odlitek bronzu

#### **7.2.4. Krok č. 4 - Vytvrzení tmelu a opracování povrchu odlitku**

Vytvrzení tmelu určeného na litinu s tvrdidlem Diamant SF udává výrobce v rozmezí 55 - 60 minut. Tmel složený z plniva Diamant Bronze plastic A a tvrdidla Diamant strahlfest se měl vytvrdit mezi 40 - 45 minutami. Vytvrzení proběhlo bez problému a tmel se po uplynutí daných časů zdál vytvrzený a připravený k opracování.

#### **7.2.5. Krok č. 5 - Opracování povrchu odlitků**

Bylo potřeba odstranit přebytečný tmel z povrchu odlitků a zároveň je vyhladit. Zvolil jsem způsob opracování pomocí brusky. Tou jsem lehkými pohyby zarovnal materiál do původního tvaru. U bronzového odlitku byly některé zatmelené dutiny příliš blízko u detailů, které se tímto také trochu zbrousily. Z toho vyplývá, že by se mělo v praxi tmelit především na rovných plochách odlitků. Po vybroušení jsem odlitky očistil smetákem, zkontroloval hladkost povrchu a zdokumentoval (obr. 29) a (obr. 30).





Obr. 29: Zatmelený a opracovaný první odlitek



Obr. 30: Zatmelený a opracovaný druhý odlitek

### 7.3. Vyhodnocení celé tmelící operace

Při tomto zkoumání mi zabralo nejvíce času vyvrtání dutin do odlitků, samotné tmelení obou odlitků již poté proběhlo v rozmezí 20 až 25 minut. Při opakovaném tmelení by se to jistě dalo zvládnout v kratším čase. Ale snažil jsem se, aby postup tmelení proběhl správně, a aby nikde v dutinách nevznikly žádné plynové bubliny. Průběh celé této operace probíhal dle očekávání. S tmely se pracovalo dobře a spojení dvou složek tmelu pomocí míchání bylo rychlé a bezproblémové. Výhodou i možnou nevýhodou této metody je její rychlost. Nevýhoda může spočívat v tom, když máme na opravu více kusů odlitků. Potom potřebujeme pracovat rychle, aby tmel nezatvrdl dříve, než ho aplikujeme na všechny vady odlitků. Nebo je možné tomuto předejít přípravou menšího množství tmelu a po jeho spotřebování namíchat tmel opakovaně. V mém případě, kdy jsem tmelil pouze dva odlitky, jsem tuto situaci řešit nemusel. Po vytvrzení šla tmelená plocha bruskou opracovat vcelku lehce, bez nutnosti použití větší síly. Stačilo přes odlitky jemně přejíždět bruskou ve správném směru. Byl to rychlý způsob opracování povrchu odlitku, tmel se nijak nedrolil ani nepopraskal a zůstal v dutinách i po vybroušení.



## Závěr

Díky této bakalářské práci jsem získal teoretické a praktické znalosti o tmelení a impregnaci vad odlitků. V části teoretické jsem zjistil a popsal, jaký druh vad lze opravit impregnací a tmelením, jak tyto metody fungují, z čeho se skládají a uvedl jsem několik tmelů a impregnačních kapalin. U nich jsem uvedl jejich vlastnosti, využití a dostupnost. Poznal jsem tedy, že ne všechny povrchové vady se dají opravit metodou svařování. Tento způsob opravy může být například zakázán konstruktérem nebo by se oprava ekonomicky nevyplatila vzhledem k velikosti odlitku, vynaloženému času na jeho opravu a nákladům spojeným se svařováním. V takovém případě se přistupuje buď ke tmelení, nebo je odlitek vyřazen z výroby jako zmetek. Impregnací se utěšňují díly, které musí splňovat požadavky na tlakotěsnost. Tato metoda opravy nemá žádnou významnou konkurenci. Utěšňování se v dnešní době provádí převážně impregnací, pakliže nechceme odlitek vyřadit. Uvedl jsem způsoby a druhy utěšňování a impregnací a popsal postup impregnace suchým vakuem.

V praktické části bakalářské práce se věnuji návštěvám společností Tafonco, a.s. a Slévárně Třinec, a.s., které provádějí opravy odlitků tmelením. V nich jsem se pokusil zjistit, v jak velké míře se tmelení provádí. Na tuto otázku však není jednoduchá odpověď, jelikož se procentuální množství tmelených odlitků velice mění. Musí se brát zřetel na materiál odlitku, velikost, hmotnost, jeho složitost ale také to závisí na velikosti dané zakázky. U jedné série ocelových odlitků se může pohybovat počet tmelených odlitků kolem 40 až 50 % zatímco u jiné série litinových odlitků to může být hodnota mezi 0 až 10 %. Určit tedy konečnou hodnotu odlitků opravených tmelením je prakticky nemožné, jelikož závisí na mnoha faktorech, a mění se dle toho, jakou sérii odlitků zrovna daná slévárna produkuje. Z ekonomického pohledu se slévárnám tento způsob oprav velice vyplatí, nemusí vyřazovat z výroby odlitky kvůli malým povrchovým vadám. Vzhledem k množství spotřebovaného tmelu a rychlosti jeho vytvrzení je tato operace výhodná. Problém spočívá v domluvě zakázky se zákazníkem. Ti ve většině případů (asi 70 %) odmítají přijímat odlitky opravované tmelením a požadují téměř dokonalý odlitek. Slévárna musí v takovém případě pozorně spočítat a vyhodnotit s ohledem na všechny uvedené faktory zda se jim zakázka ekonomicky vyplatí a zda dokážou odlévat odlitky bez vad nebo s jejich minimem aby byly ziskové.

Vlastní zkušenost s tmelením jsem získal ve slévárenské dílně. Práce s tmely firmy Diamant proběhla dle mých očekávání. Tmelení do předem vyvrtaných děr, které měly nahradit vady bylo relativně rychlé. Stihl jsem zatmelit všechny vady dřív, než tmel zatvrdl.

Obroušení tmeleného povrchu bylo rychlé, snadné a proběhlo bez problémů. Když nepočítám vyvrtávání děr tak tato operace tmelení dvou odlitků trvala v rozmezí 20 - 25 minut. Nutno dodat, že jsem nespíchal a soustředil jsem se na správnost postupu, mísení dvou složek tmelu a jeho nanášení.

Dle mých získaných zkušeností s těmito operacemi si myslím, že tyto způsoby oprav budou pokračovat i nadále a kvalita tmelů se bude postupem času také zvyšovat. Je totiž prakticky nemožné vzhledem ke složitosti vědního oboru slévárenství a operaci odlévání vyrábět dlouhodobě odlitky absolutně bez vad. A dokud budou mít odlitky vady, bude potřeba je opravovat.

## Seznam literárních a internetových zdrojů

- [1] ELBEL, T. a kol. *Vady odlitků ze slitin železa*. 1. vyd. Brno : Matecs, 1992.332s.
- [2] ČSN 42 1240. *Vady odlitků*. Názvosloví a třídění vad. 1965.
- [3] Slévárenský kalendář 1978, *Utěšňování odlitků*, 1. vyd. Brno : ÚV ČVTS ve spolupráci s MON-Interpress, 1978. 101-105s.
- [4] KUBÍČEK, J. Využití tmelů pro opravy odlitků. *Slévárenství*, 2007, č.1, 22-26s.
- [5] WIKIPEDIA, The free encyklopedia, Svařování[online], © 28. 2. 2015[cit.20.3.2015]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Svařován9>
- [6] KEINER, R.; MORES, S. Opravy odlitků tmelením a utěšňováním. *Slévárenství*, 2007, č.1, 27-31s.
- [7] WHAT-WHEN-HOW, Impregnating materials for castings[online], © 2014 [cit.2015-3-16]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/materialsparts-and-finishes/impregnating-materials-for-castings/>
- [8] STRÍTECKÝ, F. Opravy vad hliníkových odlitků impregnací. *Slévárenství*, 2007, č.1, 32s.
- [9] IMPCO, The impregnation technology, Sealants[online], © 2015[cit.2015-3-11]. Dostupné z: <http://www.impc-inc.com/sealants>
- [10] DIAMANT. Dichtol, Kompletní impregnační systém[online], © 2013[cit.2015-2-16]. Dostupné z: <http://www.diamant-servis.cz/dichtol/>
- [11] HALUŠKA, M. Utěšňování odlitků vakuovou impregnací. *Slévárenství*, 2008, č.7-8, 365s.
- [12] WIKIPEDIA, The free encyklopedia, Porosity sealing[online], © 18.7.2014[cit.2015-2-8]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Porosity\\_sealing](http://en.wikipedia.org/wiki/Porosity_sealing)
- [13] TAFONCO, a.s. Představení společnosti Tafonco a.s.[online], © 2012[cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.tafonco.cz/profil/kontakty.asp>

[14] SLÉVÁRNY TŘINEC, a.s. Slévárny Třinec, a.s. se řadí mezi nejvýznamnější slévárny v České republice[online], © 2012 - 2014[cit.2015-1-8].

Dostupné z: <http://www.slevarny.trz.cz/spolecnost-profil.htm>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Povrchové připečeniny

[1] Dostupné z: <http://www.afsinc.org/content.cfm?ItemNumber=6944>

Obr. 2: Staženina

[1] Dostupné z: <http://www.afsinc.org/content.cfm?ItemNumber=6944>

Obr. 3: Dutina vzniklá z pískové formy

[2] Dostupné z: <http://www.iron-foundry.com/casting-defects-pictures.html>

Obr. 4: Malé dutiny a nerovnosti povrchu

[2] Dostupné z: <http://www.iron-foundry.com/casting-defects-pictures.html>

Obr. 5: Vada určená k opravě tmelením [vlastní]

Obr. 6: Repasovaná turbína

[3] Dostupné z: <http://www.diamant-polymer.it/category/manutenzione-e-protezione/>

Obr. 7: Údaje tmelů firmy Diamant Plasticmetall

[4] Dostupné z: <http://www.diamant-servis.cz/plastic-metal/>

Obr. 8: Nanášení opravného tmelu

[5] Dostupné z: [http://www.pesukltd.com/products/industrial\\_protective\\_coatings\\_and\\_repair/diamant/coatings/](http://www.pesukltd.com/products/industrial_protective_coatings_and_repair/diamant/coatings/)

Obr. 9: Zatmelený odlitek tmelem od firmy Diamant

[6] Dostupné z: <http://www.indiamart.com/dt-metal-plastic/>

Obr. 10: Ukázka opravitelných dutin impregnací

[7] Dostupné z:

<http://rushprnews.com/images/posts/ee5b2b88edc858476b5c2322e72d55a2c5809cd1.jpg>

Obr. 11: Impregnace odlitků ponořením

[8] Dostupné z: <http://www.diamant-servis.cz/dichtol/>

Obr. 12: Impregnace odlitků pomocí spreje

[9] Dostupné z: <http://www.diamant-polymer.it/impregnante-liquido-per-metalli/>

Obr. 13: Netěsnící a těsnící výrobek

[10] Dostupné z: <http://www.diamant-servis.cz/dichtol/>

Obr. 14: Princip utěšňování pórů

[11] Dostupné z: <http://metaseal.com/services>

Obr. 15: Impregnace suchým vakuem

[12] Dostupné z: <http://www.godfreywing.com/blog/bid/152308/Types-of-Vacuum-Impregnation-Processes>

Obr. 16: Autokláv

[13] Dostupné z: <http://www.namanenterprises.net/vacuum-impregnation-system.html>

Obr. 17: Impregnace mokrým vakuem

[12] Dostupné z: <http://www.godfreywing.com/blog/bid/152308/Types-of-Vacuum-Impregnation-Processes>

Obr. 18: Tmel Variol ULTRA [vlastní]

Obr. 19: Odlitek tmelený přípravkem Variol ULTRA [vlastní]

Obr. 20: Ukázka prvního zatmeleného odlitku [vlastní]

Obr. 21: Ukázka druhého zatmeleného odlitku [vlastní]

Obr. 22: Odlitek z šedé litiny [vlastní]

Obr. 23: Odlitek z bronzu [vlastní]

Obr. 24: Kovové a bronzové plnivo [vlastní]

Obr. 25: První vyvrtaný odlitek [vlastní]



Obr. 26: Druhý vyvrtaný odlitek [vlastní]

Obr. 27: Čerstvě zatmelený odlitek z šedé litiny [vlastní]

Obr. 28: Čerstvě zatmelený odlitek z bronzů [vlastní]

Obr. 29: Zatmelený a opracovaný první odlitek [vlastní]

Obr. 30: Zatmelený a opracovaný druhý odlitek [vlastní]